



LÄMPÖTILAN MITTAAMINEN RFID- TRANSPONDEREILLA JA KOAKSIAALIKAAPELILLA

Markus Schröder

Ohjaaja: Jussi Putaala

**ELEKTRONIIKAN JA TIETOLIIKENNETEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA**

2020

Schröder M. (2020) Lämpötilan mittaaminen RFID-transpondereilla ja koaksiaalikaapelilla. Oulun yliopisto, Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan tutkinto-ohjelma. Kandidaatintyö, 19 s.

TIIVISTELMÄ

Työssä valmistettiin antenni 24 metrin mittaisesta koaksiaalikaapelista (leaky coaxial cable), jonka avulla luettiin lämpötilamittaukseen valmistettuja passiivisia RFID-transpondereita eli tageja. Kaapelin ulkojohtimeen leikattiin noin 90 cm välein aukkoja, joista säteily pääsee ”vuotamaan”. Tagit pakattiin vesitiiviiseen pakettiin aukkojen kohdalle kaapelin pintaan. Mittaamiseen tarvittiin kaapelin ja tagien lisäksi myös lukijalaite, sekä tietokone datan tallentamiseen.

Mittauksia tehtiin sisä- ja ulkoilmassa sekä myös vedessä. Tulokset on esitetty kuvaajina. Mittaustarkkuutta voitiin arvioida vertaamalla termopariin, jota käytettiin referenssinä. Referenssin dataan verratessa huomattiin tagien korjausarvojen olevan lähes lineaarisia lämpötilan kanssa. Kalibrointi suoritettiin laskemalla jokaiselle tagille korjaussuoran yhtälöt käyttäen kahdessa eri lämpötilassa mitattuja korjausarvoja. Korjausarvot saatiin referenssimittausten ja tagin lämpötilojen erotuksesta.

Kalibroinnin ja 20:n pisteen keskiarvoistamisen avulla mittaustarkkuus saatiin parannettua lähelle termoparin tarkkuutta. Lisäksi mittauksissa todettiin kaapelin vedenpitävyys.

Avainsanat: Lämpötilan mittaus, RFID, UHF, koaksiaalikaapeli, säteilevä kaapeli.

Schröder M. (2020) Temperature measuring using RFID-transponders and coaxial cable. University of Oulu, Degree Programme in Electronics and Communications Engineering, Candidate's thesis, 19 p.

ABSTRACT

In this research a 24-meter-long coaxial cable was fixed to work as an antenna (leaky coaxial cable) to read temperature sensing RFID tags. Slots were cut on cables outer connector 90 cm apart from each other where the signal gets to leak. Tags were packed waterproof and sealed on top of the slots. In addition to make measurements RFID reader and a computer to log the data was needed.

Measurements were made indoors and outdoors where the cable was also underwater. The data in this thesis is presented in charts. To calculate measurement accuracy, results were compared to a thermocouple which was used as a reference. Measurements from each tag needed adjustments to minimize the measurement error to the reference thermocouple. Linear equations were used as the measured results differed from the reference measurement in different temperatures. Linear equations for each tag were calculated using two fixed values from different temperatures.

It was possible to reach a measurement accuracy close to the accuracy of a thermocouple. This was achieved with 20-point averaging and calibration. The cable was proven to be waterproof also.

Key words: Temperature measuring, RFID, UHF, coaxial cable, leaky feeder.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYS.....	4
MERKINNÄT JA LYHENTEET	5
1. JOHDANTO	6
2. TEORIA.....	7
2.1. RFID-taajuudet.....	7
2.1.1. Low Frequency (LF) 30 kHz ~ 300 kHz	7
2.1.2. High Frequency (HF) 3 MHz ~ 30 MHz	7
2.1.3. Ultra High Frequency (UHF) 300 MHz ~ 3 GHz.....	7
2.1.4. Mikroaaltoalue 2 GHz ~ 30 GHz.....	7
2.2. Lukijalaite.....	8
2.3. Koaksiaalikaapeli antennina.....	8
2.4. Tagityypit	8
2.4.1. Puolipassiiviset tagit	9
2.4.2. Aktiiviset tagit	9
2.4.3. Passiiviset tagit	9
2.5. Passiivisen lämpötilatagin toiminta.....	10
2.6. Mittaustarkkuuden optimointi	10
3. TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN.....	11
3.1. Kaapelin valmistus	11
3.2. Kalibrointi ja keskiarvoistus.....	11
3.3. Mittaukset.....	15
4. TULOSTEN TARKASTELU	17
4.1. Mittaustarkkuus ja toimivuus	17
4.2. Johtopäätökset ja suositukset.....	17
5. YHTEENVETO	18
6. LÄHTEET	19

MERKINNÄT JA LYHENTEET

EIRP	Effective Isotropic Radiated Power, Tehollinen isotrooppinen säteilyteho
ERP	Effective Radiated Power, Tehollinen säteilyteho
HF	High Frequency, Suurtaajuus (3 - 30 MHz)
IC	Integrated Circuit, integroitu piiri
leaky feeder	antennina toimiva vuotava kaapeli
LF	Low Frequency, Pientaajuus (30 – 300 kHz)
RFID	Radio Frequency Identification, radiotaajuinen etätunnistus
UHF	Ultra High Frequency, taajuusalue välillä 0,3 – 3 GHz
USB	Universal Serial Bus, sarjaväyläarkkitehtuuri
cm	senttimetri
GHz	gigahertsi
Hz	hertsi
m	metri
s	sekunti
W	watti
°C	celsiusaste
Ω	ohmi

1. JOHDANTO

Lämpötilan mittaus on tärkeä osa-alue monissa eri teollisuuteen tai ympäristötutkimukseen liittyvissä sovelluksissa. Teollisuudessa jatkuvaa lämpötilan seurantaa tarvitaan esimerkiksi kylmäketjun varmistamisessa, kun taas ympäristötutkimuksessa sitä tarvitaan esimerkiksi ilmaston lämpenemisestä johtuvien luonnonilmiöiden tarkkailussa.

Tässä työssä tutkittiin lämpötilaa mittaavan kaapelin toimivuutta ja mittaustarkkuutta. Lämpötila-antureina toimivat passiiviset UHF-tagit (Ultra High Frequency), jotka on pakattu kaapelin pintaan kiinni periodin välein. Kaapelin toinen pää on kiinni RFID-lukijalaitteessa (Radio Frequency IDentification), joka on taas kiinni tietokoneen USB-portissa (Universal Serial Bus). Kaikkien kaapelin pinnassa olevien tagien datat voidaan kerätä samanaikaisesti ja vapaasti valittavissa olevalla aikavälillä tietokoneelle.

Kaapelia käytettiin antennina kommunikointiin UHF-alueella toimivien RFID-tagien kanssa. Vaikka tagit ovat kaapelin pinnalla, ne eivät ole galvaanisessa kontaktissa siihen. Tekniikka on ollut laajalti käytössä jo toisesta maailmansodasta asti [1]. Tyypillisiä RFID-käyttökohteita ovat eläinten tunnistus, kulun valvonta ja erilaiset logistiikkasovellukset.

Kaapelilla voitaisiin lukea tageja hieman pidempienkin etäisyyksien päästä, mutta se edellyttäisi, että kaapelin ja tagien välissä ei ole ainetta joka absorboisi tai muuten häiritsisi kaapelista lähtevää sähkömagneettista säteilyä ts. UHF-taajuisia signaalia. Esimerkiksi vesi tai metalli tagin ja kaapelin välissä vaimentaa tai estää signaalin etenemisen. Koska kaapelilla halutaan mitata erilaisissa ympäristöissä luotettavasti, tagit on pakattu vesitiiviiseen pakettiin lähelle kaapelin pintaa.

2. TEORIA

2.1. RFID-taajuudet

Eri RFID-systeemien yksi tärkeimmistä erottavista tekijöistä on lukijalaitteen toimintataajuus [2]. Tagien lukuetaisyydet ovat yleensä pidempiä korkeilla taajuuksilla, riippuen kuitenkin kyseisen taajuuden aluekohtaisista tehorajoituksista ja käytettävästä kytkeytymistavasta. Yleisimmät systeemit, joiden lukuetaisyys on alle metrin käyttävät induktiivista kytkeytymistä [2]. Yli metrin lukuetaisyyden systeemit käyttävät kapasitiivista kytkentää ja korkeampia taajuuksia [2]. Korkeat taajuudet ovat toisaalta herkempiä ympäristössä oleville materiaaleille. Valittu taajuus vaikuttaa myös tagin mahdollisiin fyysisiin mittoihin.

2.1.1. *Low Frequency (LF) 30 kHz ~ 300 kHz*

Pitkän aallonpituuden ansiosta metallit ja vesipitoiset materiaalit eivät häiritse tagin toimintaa. Lukunopeus on alhainen, jonka vuoksi monien tagien yhtäaikainen lukeminen on vaikeaa. Lukuetaisyys on maksimissaan puoli metriä. Antennin täytyy olla isokokoinen. Taajuutta käytetään eläinten tunnistuksessa ja autojen käynnistyskeskustassa.

2.1.2. *High Frequency (HF) 3 MHz ~ 30 MHz*

HF-tagit maksavat yleisesti vähemmän kuin LF-tagit. Lukunopeudet ovat myös vähän korkeampia kuin LF-alueella. Lukuetaisyys on maksimissaan noin 2 m. HF-tagit toimivat kohtuullisen hyvin metallisten ja vettä sisältävien esineiden kanssa. Yleisiä käyttökohteita ovat kulunvalvonta ja matkatavaroiden seuranta.

2.1.3. *Ultra High Frequency (UHF) 300 MHz ~ 3 GHz*

UHF-tagit ovat yleisesti halvempia kuin LF- ja HF-alueella toimivat tagit. Niillä on hyvä lukuetaisyys, jopa kymmeniä metrejä riippuen valitusta kaistasta. Datansiirto on myös nopeaa, joka mahdollistaa monien tagien samanaikaisen lukemisen. UHF-tagit toimivat kuitenkin huonosti metallisten ja vettä sisältävien materiaalien kanssa.

2.1.4. *Mikroaaltoalue 2 GHz ~ 30 GHz*

Mikroaaltoalueen tageilla saavutetaan suurimmat datanopeudet ja kaistanleveys on laaja. Tagien hinnat ovat yleisesti kalliimpia kuin esimerkiksi LF-alueella. Korkea taajuus ei tarvitse isoa antennia, joten tagit on mahdollista valmistaa hyvin pieniksi. Korkean taajuuden vuoksi toimivuus on kuitenkin todella huono ympäristöissä, joissa on vettä tai johtavia materiaaleja.

2.2. Lukijalaite

RFID-systeemien tärkein osa on lukijalaite. Se hoitaa tagien lukemisen ja niihin kirjoittamisen. Tutkimuksessa käytettävä lukijalaite toimii UHF-alueella. UHF-alueella Euroopassa RFID-käytölle on rajattu kaistat 865-868 MHz ja 915-921 MHz.

Myös tehoa on rajoitettu. Säteilyteho voidaan ilmaista eri tavoilla, kuten ERP (Effective Radiated Power) tai EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) watteina tai desibeleinä. ERP ilmaisee tehon verrattaessa puolialtrodipoliantenniin, ja EIRP isotrooppiseen antenniin. Euroopassa suurin sallittu säteilyteho UHF-alueen alemmalla kaistalla on 2 W ERP ja 4 W ERP ylemmällä kaistalla [3].

2.3. Koaksiaalikaapeli antennina

Koaksiaalikaapelin rakenne koostuu sisäjohtimesta, joka on sylinterimäisen ulkojohtimen sisällä. Sisäjohtimen ja ulkojohtimen välissä on eristekerros, sekä ulkojohtimen päällä on suojakuori. Ulkojohtimen ansiosta kaapeli on hyvin suojattu ulkoisilta häiriöiltä. Koaksiaalikaapelin sisä- ja ulkojohdin on valmistettu yleensä kuparista, ja eristekerros polyetyleenistä (PE) tai polytetrafluorieteenistä (PTFE). Ulkokuori on yleensä valmistettu PVC-muovista. Tutkimuksessa käytetyn kaapelin halkaisija oli 1,27 cm.

Koaksiaalikaapeli saadaan toimimaan antennina, kun sen ulkojohtimeen leikataan aukkoja. Signaali pääsee vuotamaan sisään ja ulos aukkojen kohdalta, josta tuleekin nimitys leaky feeder, eli säteilevä kaapeli. Muokkaaminen on helppoa, mutta kaapelin kestävyys kärsii. Kun suojakuori leikataan auki, se joudutaan paikkaamaan uudelleen vedenpitäväksi. Myös kun ulkojohtimesta otetaan pala pois, sen mekaaninen kestävyys heikkenee huomattavasti.

2.4. Tagityypit

RFID-tagit voidaan jaotella kolmeen eri tyyppiin: aktiivisiin, puolipassiivisiin ja passiivisiin. Niitä erottaa pääasiassa vain toimintaperiaate, mutta se vaikuttaa suoraan esimerkiksi tagien lukuetaisyyteen, hintaan ja kokoon. Samalla toimintaperiaatteella toimivilla tageilla voi kuitenkin olla eroja esimerkiksi mitattavien suureiden määrässä, muistissa ja hinnassa.

2.4.1. Puolipassiiviset tagit

Puolipassiiviset tagit sisältävät oman virtalähteen, joka on esimerkiksi paristo tai aurinkokenno. Virtalähdettä käytetään IC:n päällä pitämiseen, josta on suuri hyöty, koska IC:n käynnistämiseen kuluu suhteellisen paljon energiaa [1]. Puolipassiiviset tagit eivät kuitenkaan kykene lähettämään korkeataajuisia signaalia takaisin lukijalaitteelle oman virtalähteen avulla. Passiivisiin tageihin verrattessa lukuetaisyys on pidempi, mutta ei niin pitkä kuin aktiivisilla tageilla.

2.4.2. Aktiiviset tagit

Aktiivisilla tageilla on puolipassiivisten tapaan oma virtalähde, mutta ne kykenevät IC:n päällä pitämisen lisäksi lähettämään signaalin pelkästään virtalähteestä saatavan energian avulla. Aktiivisten tagien lukuetaisyydet voivat olla jopa satoja metrejä. Aktiivisia tageja voidaan käyttää ympäristöissä, jotka ovat passiivisille tageille haasteellisia, kuten esimerkiksi tilat, joissa on paljon metallia. Aktiivisiin tageihin saadaan enemmän muistia kuin esimerkiksi passiivisiin tageihin. Tagit voivat myös kommunikoida keskenään, ja muodostaa verkon. Aktiiviset tagit ovat passiivisia harvinaisempia, koska niiden hinta on paljon korkeampi.

2.4.3. Passiiviset tagit

Passiiviset tagit ovat kolmesta mallista halvimpia, mutta niillä on yleensä vähiten toiminnallisia ominaisuuksia. Rakenne on muita malleja yksinkertaisempi. Ne ottavat kaiken tarvitsemansa energian lukijalaitteen lähettämästä signaalista, eli ne eivät tarvitse omaa virtalähdettä toimiakseen.

2.5. Passiivisen lämpötilatagin toiminta

Mittauksissa käytettävien tagien IC-piireille on sisäänrakennetut piirit lämpötilan mittaukselle. IC-piirin piin lämpötilaa mitataan, ja tieto lähetetään lukijalaitteelle digitaalisena koodina. Tämä digitaalinen koodi muutetaan tietokoneohjelmassa celsiusasteiksi. Mittauksissa käytettiin NordicID:n ohjelmaa, joka myös tallentaa datan csv-tiedostoiksi. Celsiusasteiksi muuttaminen tapahtuu piirin muistiin tallennettujen kalibrointiarvojen avulla seuraavan kaavan mukaisesti:

$$\text{Lämpötila celsiusasteina} = \frac{1}{10} \left[\frac{TEMP2 - TEMP1}{CODE2 - CODE1} (C - CODE1) + TEMP1 - 800 \right],$$

jossa

TEMP1 = (ensimmäisen kalibrointipisteen lämpötila celsiusasteina) * 10 + 800

TEMP2 = (toisen kalibrointipisteen lämpötila celsiusasteina) * 10 + 800

CODE1 = ensimmäisen kalibrointipisteen lämpötilakoodi

CODE2 = toisen kalibrointipisteen lämpötilakoodi

C = muunnettava lämpötilakoodi

2.6. Mittaustarkkuuden optimointi

Tagien ilmoittamissa lämpötilakoodeissa on kohinaa. Tätä kohinaa voidaan vähentää keskiarvoistamisen avulla. Niin edelleen mittaustarkkuus paranee, mitä enemmän tagien ilmoittamia lämpötiloja käytetään keskiarvoistamiseen. Monen pisteen keskiarvoistus edellyttää päivityksen aikavälin lyhentämistä, jolloin tageilta tietokoneelle tallentuvan datan määrä kasvaa.

Myös tagin vastaanottama teho voi vaikuttaa mittaustarkkuuteen. Vastaanotetun tehon tagi ilmoittaa On-Chip RSSI -koodina. Mitatut lämpötilat joissa on liian pieni, tai vastaavasti liian suuri On-Chip RSSI -koodi, eivät ole luotettavia. Optimiarvo koodille on 13 ja 18 välillä [4]. Kun kaikki tagit on asennettu lähes samalle etäisyydelle ja samaan asentoon kaapeliin nähden, ainoaksi tavaksi säädellä arvoa jää lukijalaitteen tehonsäätö.

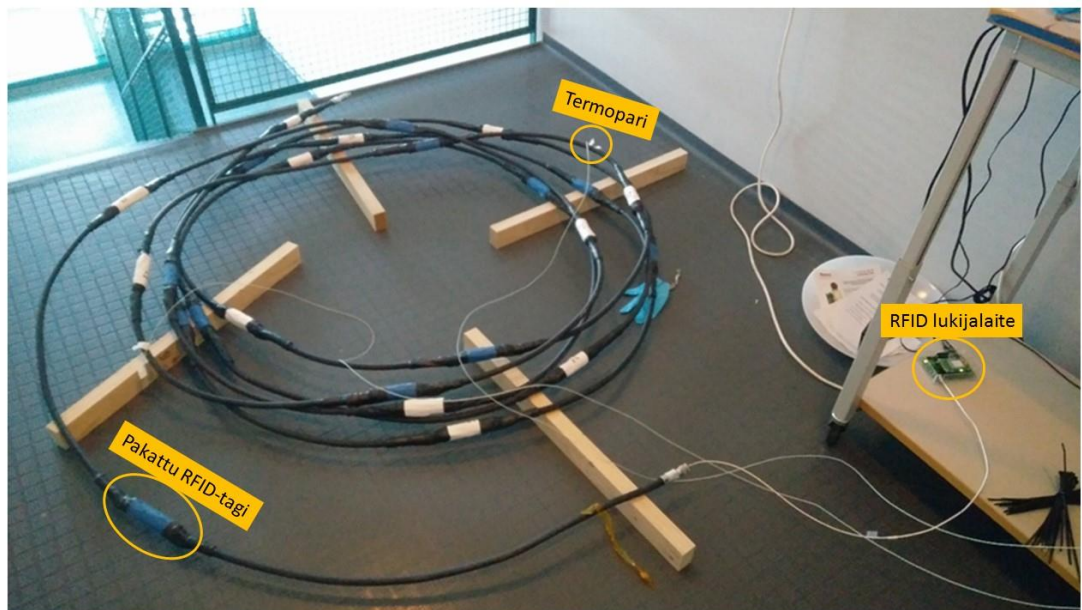
3. TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN

3.1. Kaapelin valmistus

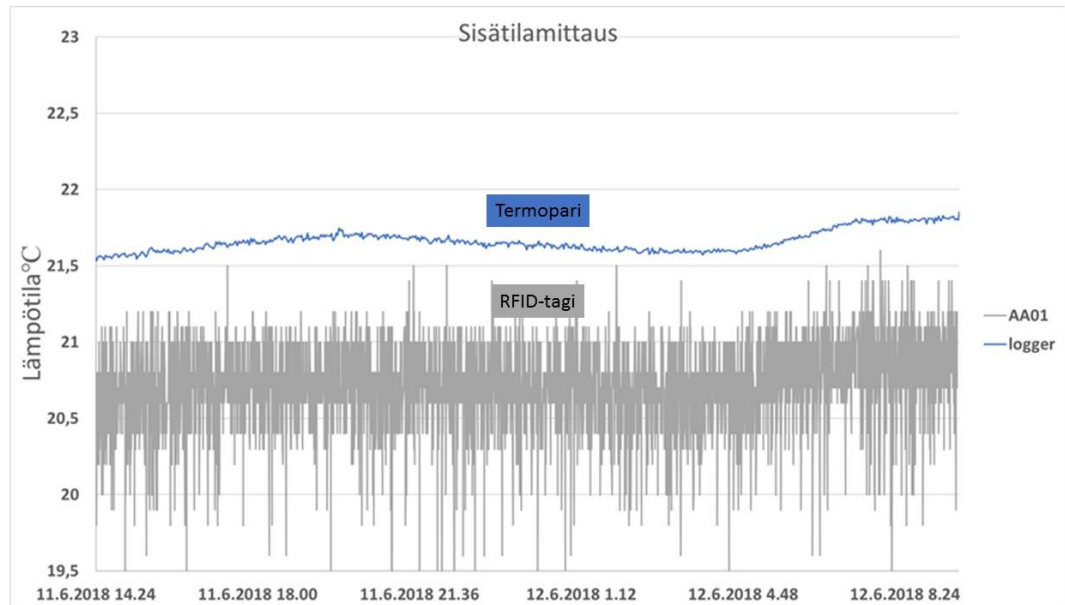
Kaapeli valmistettiin Oulun yliopiston Mikroelektroniikan tutkimusyksikössä. 24 metriä pitkään koaksiaalikaapeliin integroitiin lämpötilaa mittaavia RFID-tageja noin 90 cm välein. Anturit suojattiin vedeltä, jotta kaapelia voitiin käyttää ympäristön lämpötilamittauksissa mm. merivedessä.

3.2. Kalibrointi ja keskiarvoistus

Antureiden kalibrointia varten tehtiin kaksi mittausa toisistaan eroavissa lämpötiloissa. Näissä mittauksissa referenssinä käytetty termopari sijoitettiin lähelle kaapelia ja siinä kiinni olevia tageja. Ensimmäinen mittaus tehtiin sisätilassa (Kuva 1), jolloin termoparin mittaama lämpötila pysyi noin 22 °C lämpötilassa (Kuva 2). Termoparin loggausaikaväliksi asetettiin 120 s ja kaapelille 6 s.

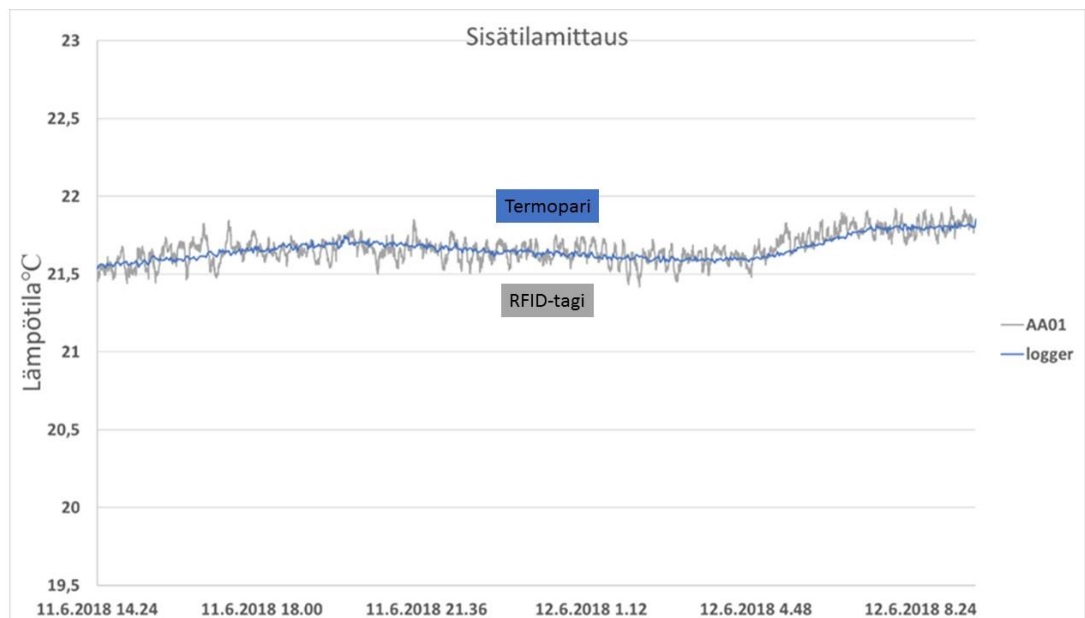


Kuva 1. Mittaus sisällä.



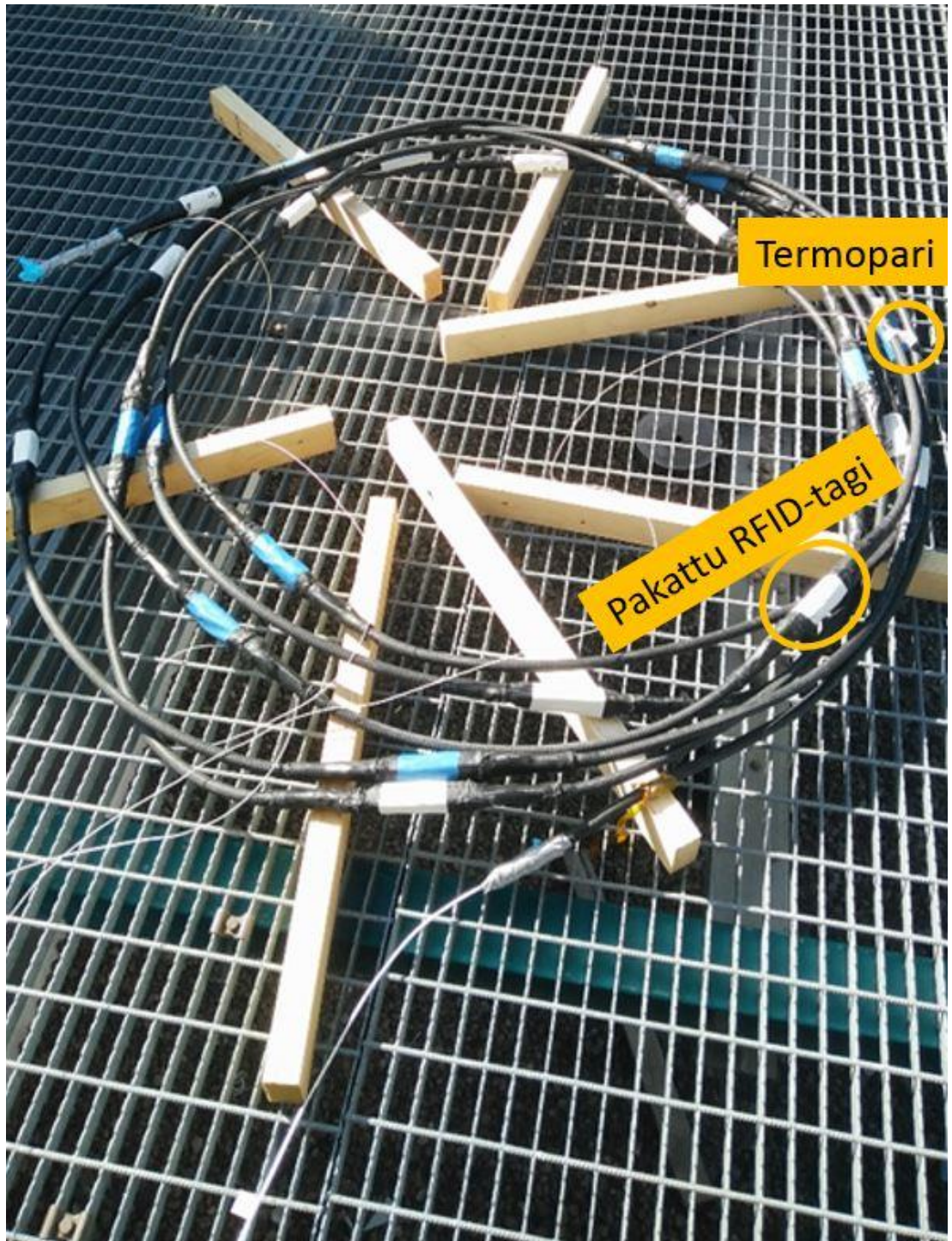
Kuva 2. Yhden tagin ja termoparin data sisätilamittauksesta lämpötilakuvaajana.

Seuraavaksi kaikkien tagien datat keskiarvoistettiin, jolloin keskihajonta saatiin lähemmäs termoparia. Sitten etsittiin tageille ominaiset korjausarvot vertaamalla referenssiin. Kuvassa 3 nähdään yhden tagin data 20-pisteen keskiarvoistuksella ja lisätyllä korjausarvolla (+0,95 °C), sekä termoparin data.



Kuva 3. Yhden tagin muokattu data, ja termoparin data lämpötilakuvaajana.

Toinen mittaus tehtiin samantapaisella järjestelyllä ulkona muutaman yön yli (Kuva 4), jolloin termoparin mittaama minimilämpötila oli noin 6 °C (Kuva 5).



Kuva 4. Mittaus ulkona.



Kuva 5. Yhden tagin data ja termoparin data ulkomittauksesta lämpötilakuvaajana.

Yksittäisille antureille tarvittavat korjausarvot eivät olleet samoja eri lämpötiloilla, joten ne sovitettiin suoran yhtälöön. Esimerkkinä käytettävän tagin nimimerkillä AA01, korjausarvo lämpötilassa 21,6 °C oli +0,95 °C, ja 6,1 °C lämpötilassa +1,7 °C. Tuloksista voidaan muodostaa yhtälöpari:

$$\begin{cases} A * 21,60 \text{ °C} + B = 0,95 \text{ °C} \\ A * 6,10 \text{ °C} + B = 1,70 \text{ °C} \end{cases}$$

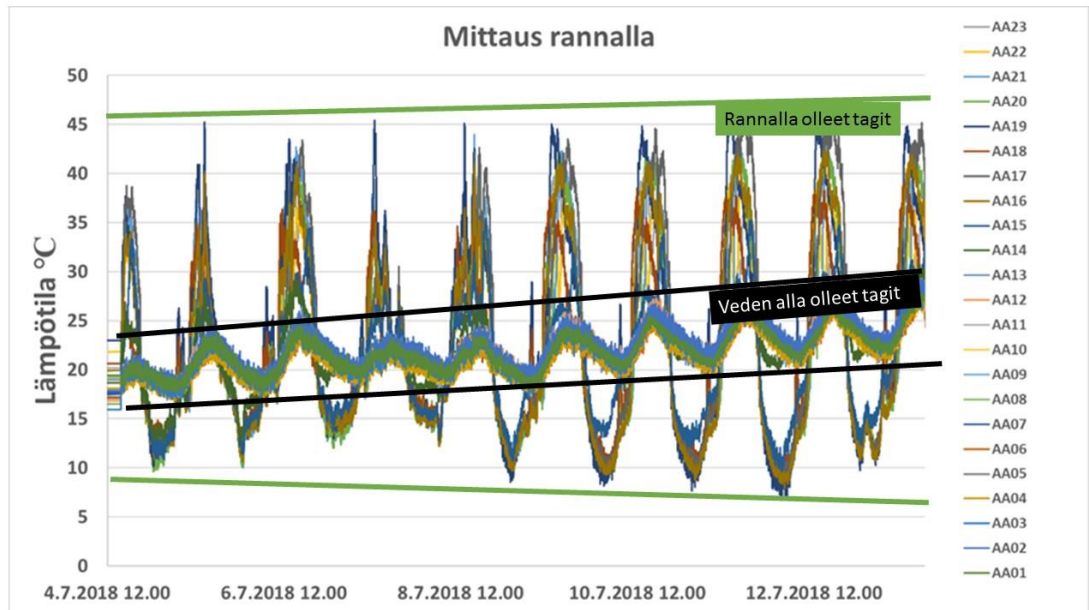
Ratkaisemalla yhtälöparin ($A = -0,048$, $B = 1,99 \text{ °C}$), korjaussuoran yhtälöksi saadaan $-0,048 * x + 1,99 \text{ °C}$, jossa x on tagin ilmoittama lämpötila. Tämä yhtälö voidaan sijoittaa Exceliin, ja korjata jokainen tagin ilmoittama lämpötilan arvo. Seuraavassa kuvassa 6 nähdään kuvaajan selkeyttämiseksi vain yhden tagin data muokattuna keskiarvoistuksella ja korjaussuoralla.



Kuva 6. Yhden tagin data muokattuna korjaussuoralla ($-0,048 \cdot x + 1,99$ °C) ja 20-pisteen keskiarvoistuksella, sekä termoparin data lämpötilakuvaajina.

3.3. Mittaukset

Kalibroinnin jälkeen tehtiin yhteensä kuukauden kestävä mittaus meren rannalla. Kymmenen RFID-tagia mittasivat ilman lämpötilaa rannalla, ja 13 tagia veden lämpötilaa samanaikaisesti. Tietokone ja lukijalaite olivat vedenpitävässä laatikossa rannalla. Tietokonetta käytettiin etänä, jolloin data voitiin kerätä talteen internetin kautta ilman mittauspaikalla käyntiä. Seuraavassa kuvaajassa nähdään tulokset yhdeksän päivän ajalta (Kuva 7). Tagit on nimetty niin, että suurimmalla numerolla oleva (AA23), on ensimmäinen laatikolta lähtevä tagi, ja pienin numero (AA01) on viimeinen, kaikista syvimmällä vedessä oleva tagi.



Kuva 7. Kaikkien tagien muokattu (korjaussuorat ja 20-pisteen keskiarvoistus) data lämpötilakuvaajana.

4. TULOSTEN TARKASTELU

4.1. Mittaustarkkuus ja toimivuus

Käsitellyn datan mukaan tehtyjen kuvaajien perusteella mittaustarkkuus oli lähellä termoparin mittaustarkkuutta. Sisätiloissa virhettä ei päässyt syntymään yli 0,5 °C. 20:n pisteen keskiarvoistus pienensi keskihajontaa ja kalibrointi korjasi lämpötiloja lähemmäksi referenssiä. Ilman datankäsittelyä tagien ilmoittamat lämpötilat erosivat jopa yli 2 °C referenssistä. Kalibroinnista ja keskiarvoistamisesta oli siis suuri hyöty mittaustarkkuuteen.

Ulkona auringonpaisteella oli iso merkitys, jolloin eri tagien ja termoparin välille syntyi suurta vaihtelua. Tämä on normaalia, kun otetaan huomioon, että tagit olivat hieman eri paikoissa ja asennoissa. Myös paketoinnissa käytettiin eri värejä, jotka saivat aikaan eroja materiaalin lämpenemiseen suorassa auringonpaisteessa. Veden alla tehdyistä mittauksista oli hyvin nähtävissä matalan veden lämpötilavaihtelut päivän aikana, sekä matalimmassa vedessä olevan tagin ja syvimmällä olleen tagin lämpötilaerot. Myös meriveden lämpeneminen heinäkuussa on nähtävissä pidemmän ajan nousevana trendinä.

Mittaansa nähden kaapeli oli hyvin liikuteltavissa ja kesti sen. Paketoinnit pysyivät vedenpitävinä. RFID-lukija ja tietokone on kuitenkin laitettava säänkestävään laatikkoon ulkomittauksia tehtäessä. Laatikossa on myös hyvä olla tuuletus.

4.2. Johtopäätökset ja suositukset

Työssä todettiin kaapelin vedenpitävyys, mittaustarkkuus ja etäkäyttö, jotka ovat tärkeitä ominaisuuksia miettiessä mahdollisia käyttökohteita. Yksi hyvä käyttökohde olisi erilaisten merivirtojen lämpötilamittaus. Myös erilaiset kasvihuoneet, joissa paikkakohtainen lämpötilan mittaus on tärkeää, olisivat hyviä käyttökohteita.

Jatkotutkimuksien kautta voitaisiin lisätä kaapelin mahdollisia sovelluksia. Voittaisiin tutkia esimerkiksi eri suureita mittaavia tajeja, laajempaa lämpötila-aluetta sekä huomattavasti pidempää kaapelia ja sen teollista valmistamista.

5. YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutkia RFID-tageja lukevan kaapelin mittaustarkkuutta ja toimivuutta ympäristön lämpötilan mittaamisessa. Alussa perehdyttiin RFID-tekniikan teoriaan ja erilaisiin tageihin, jonka jälkeen kaapeli valmistettiin. Valmistuksen jälkeen kaapelilla tehtiin lukuisia testimittauksia sisällä ja ulkona, aina verraten referenssinä käytetyn termoparin dataan. Näin saatiin ratkaistua kalibroituarvot ja keskiarvostuksen pisteiden sopiva määrä.

Kun kaapelin mittaustarkkuus oli saatu hyvälle tasolle, kaapeli ja tietokone sijoitettiin mittaamaan meren rannalle kuukauden ajaksi. Kaapelin tageista 10 oli kuivalla maalla, ja 13 veden alla. Kaapelin mittaamaa dataa voitiin lukea muodostamalla etäyhteys tietokoneeseen.

Kaapeli pysyi vedenpitävänä ja kesti hyvin liikuttelua. Kuukauden kestäneen mittauksen jälkeen kaapeli oli vielä toimintakunnossa. Rannalla ei ollut käytössä referenssiä, joten mittaustarkkuuden säilymistä ei voitu varmistaa. Datassa ei kuitenkaan näkynyt suurempia virheitä, joita ei voisi perustella auringonpaisteella tai veden syvyydellä.

6. LÄHTEET

- [1] Dobkin, D. M. (2008). The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice. Newnes.
- [2] Finkenzeller, K. & Verlag, C. H. (2003). RFID handbook: Fundamentals and applications in contactless smart cards and identification, second edition (2nd ed.). Chichester, England ; Hoboken, N.J.: Wiley.
- [3] ETSI: EN 302 208 V3.2.0 (Haettu 23.4.2020) URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302200_302299/302208/03.02.00_20/en_302208v030200a.pdf
- [4] RFMicron: Sensor and Temperature Measurements (Haettu 31.8.2018) URL: <http://community.rfmicron.com/application-notes/>